

Marko Vainio

Materiaalivetokoneen modernisointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

23.4.2015

Tekijä(t) Otsikko	Marko Vainio Materiaalivetokoneen modernisointi
Sivumäärä Aika	24 sivua + 3 liitettä 23.4.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Kappaletavara-automaatio
Ohjaaja(t)	Osaamisaluepäällikkö Jari Savolainen Lehtori Kai Virta
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli Metropolia Ammattikorkeakoulun materiaalilaboratorion vanhan releohjaukseen pohjautuvan materiaalivetokoneen modernisointi sekä puutteellisen dokumentoinnin korvaaminen.</p> <p>Työ pitää sisällään vetokoneen alkutilanteeseen tutustumisen jossa suoritetaan vetokoneen kartoitus ja jonka pohjalta laaditaan modernisoinnin suunnitelma. Suunnittelun jälkeisessä osiossa käydään tarkemmin läpi modernisointiin valittuja osia sekä kuvataan lopputyön toteutuksen eri vaiheita ja niissä käytettyjä työkaluja, kuten ohjelmistoja.</p> <p>Projektin ohella suoritettiin myös toinen lopputyö, jossa mitoitettiin vanhan servomoottorin ja ohjaimen korvaajat.</p> <p>Työssä käytetyt osat hankittiin lähes poikkeuksetta Beckhoffilta ja näillä on toteutettu sulautettuun PC:hen ja sen lisämoduuleihin perustuva logiikkajärjestelmä. Järjestelmää ohjataan sekä manuaalisesti vetokoneessa olevista vivuista ja napeista että pöytätietokoneelle asennetusta Forceproof-ohjelmasta, joka on yhteydessä sulautettuun PC:hen lähiverkon ja TwinCAT 3 ohjelmiston kautta.</p> <p>Lopputuloksena työstä saadaan hyvin opetuskäyttöön soveltuva testilaite, joka on moderni ja toimiva. Vetokone on todistanut toimivuutensa ja tehtävään soveltuvuutensa jo käytännössä oppilaiden suorittamissa laboratoriotöissä.</p>	
Avainsanat	modernisointi, materiaalivetokone, Beckhoff

Author(s) Title	Marko Vainio Modernization of a material stretch testing instrument
Number of Pages Date	24 pages + 3 appendices 23 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	Manufacturing Automation
Instructor(s)	Jari Savolainen, Director of Intelligent Technology department Kai Virta, Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to study the modernization process of an old material stretch testing instrument. The instrument was based on an old relay based control, and the project was commissioned by the Director of Intelligent Technology of Metropolia University of Applied Sciences.</p> <p>The project consist of three major parts, the first one being the familiarization part, where the operating principle and technology used in the instrument is mapped out, and an electrical diagram is drawn to help with the planning of the modernization. The second part goes through the new technology, and the specific parts which were chosen to replace the old technology, while explaining in more detail how the parts work, and how they can be used in different industrial applications. The third, and the last major part focuses on actually explaining what was done in the project, which tools were used, and what the outcome of the project was.</p> <p>Another aim of this study was to review briefly, certain minor aspects of the project. These include the program used to create the electrical diagram, and a certain part of the code used in the logic of the system.</p> <p>The instrument has already been in educational use after its completion, and has proven to be both functional and modern by its intended user base, the students and teachers of Metropolia University of Applied Sciences.</p>	
Keywords	modernization, material, stretch, testing, instrument

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Beckhoff	1
2	Vetokoneen modernisointi ja lähtötilanne	2
2.1	Yleiskuvaus alkutilanteesta	2
2.2	Alkuperäinen sähkökaapin sisältö	3
2.3	Kuvaus vetokoneen alkuperäisestä ohjauksesta	4
3	Modernisoinnissa käytetyt osat	5
3.1	Beckhoffin logiikkajärjestelmän perusrakenne	6
3.2	Ohjausyksikkö	7
3.3	Lisämoduulit	8
3.3.1	Turvalogiikka laajemmin	9
3.3.2	Tulo- ja lähtömoduulit	11
3.4	TwinCAT ja Forceproof	13
3.5	Servomoottorit ja niiden ohjaus	13
4	Lopputyön toteutus	15
4.1	Alkutarkastelu	15
4.2	Suunnittelu ja kartoitus	16
4.3	Purkaminen	16
4.4	Uusien osien asennus	16
4.5	Testaus ja siistiminen	17
5	Projektin aikana ilmenneet ongelmat ja niiden ratkaisut	18
6	Sähkökuvien laatiminen	19
7	Logiikkaohjelma	21
8	Yhteenveto	23
	Lähteet	24

Liitteet

Liite 1. Materiaalitestin tuloskaavion esimerkki

Liite 2. Piirikaavio alkuperäisestä toteutuksesta

Liite 3. Piirikaavio modernisoinnin jälkeen

Lyhenteet

PLC	Programmable Logic Controller eli ohjelmoitava logiikka
I/O	Tulee sanoista input ja output ja on yleinen käsite digitaalisille ja analogisille sisään- ja ulostuloille
PC	Lyhenne sanoista Personal Computer, eli henkilökohtainen tietokone
AC	Alternating Current, eli vaihtovirta
DC	Direct Current, eli tasavirta
Topologia	eli tapa jolla verkossa olevat laitteet on liitetty toisiinsa.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön aiheena on Metropolia Ammattikorkeakoulun materiaalilaboratorion materiaalivetokoneen modernisointi, siinä käytettyjen laitteiden ja menetelmien läpikäynti sekä puutteellisten sähkökuvien uudelleenluonti.

Materiaalivetokone oli vanhalla releohjauksella toteutettu opetuskäytössä oleva testi-laite, jossa käytetyn tekniikan ikä alkoi heikentää laitteen soveltuvuutta opetuslaitteeksi. Laitteessa käytetty teknologia alkoi vanhentua ja laitteen alkuperäiset sähkökuvat olivat kadonneet ajan saatossa. Tavoitteena oli luoda modernimpi paremmin nykyaikaiseen opetuskäyttöön soveltuva laite, jonka laajennettavuus ja muokattavuus vastaisivat paremmin tämän päivän odotuksia.

Insinööriyö jakautuu kolmeen pääosaan, joissa käydään läpi projektissa olleita käytännön ja teorian asioita. Ensimmäinen osa keskittyy vetokoneen alkutilanteeseen, sen kuvaukseen ja siinä käytettyyn teknologiaan. Seuraava osa keskittyy modernisoinnissa käytettyihin laitteisiin, niiden toimintaperiaatteisiin sekä erilaisiin käyttötekniikkoihin näille osille. Viimeisessä osuudessa vuorostaan käydään läpi projektin eteneminen käytännössä, jonka ohella esitellään erilaisia oivalluksia ja huomioita, jotka tulivat vastaan projektia toteutettaessa. Tekstillisen kuvauksen lisäksi projektin selostuksessa käytetään työn aikana otettuja valokuvia antamaan selkeämpi kuva työn etenemisestä sekä liitteissä esitellään projektin kokonaisuuden muutosta piirikaavioiden muodossa ja annetaan esimerkki valmiin vetokoneen tuottamasta tuloskaavioista.

Pääosien lisäksi lopputyössä käydään pääpuolisesti läpi piirikaavioiden tekemiseen käytettyä ohjelmistoa sekä logiikkaohjelman pääsisältöä.

1.1 Beckhoff

Kaikki materiaalivetokoneen modernisoinnin suunnittelussa valitut osat tilattiin Beckhoffilta, joka on 1980-luvulla Saksan Verlissä perustettu yritys. Beckhoff toimittaa avoimeen PC-pohjaiseen ohjaustekniikkaan pohjautuvia automaatiojärjestelmiä, jotka voi hankkia joko yksittäisiä komponentteina tai useamman komponentin kokonaisuuksina. Yhtiönä

Beckhoff työllistää 2700 ihmistä yli 70 maassa ja sen liikevaihto oli 435 miljoonaa euroa vuonna 2013. [1]

2 Vetokoneen modernisointi ja lähtötilanne

Materiaalivetokoneen kaltaisten mekaanisten testilaitteiden sähköjärjestelmät vanhenevat selvästi nopeammin kuin laitteiden mekaaniset osat. Tällaisissa tapauksissa on usein halvempaa ja nopeampaa uusien laitteiden sähköjärjestelmät kuin investoida kokonaan uuteen testilaitteeseen. Muita modernisoinnin hyviä puolia ovat laitteen käytön opettelemisen helppous, sillä monet laitteen osa-alueista pysyvät samoina sekä mahdollinen uudistuksien räätälöinti, joissa voidaan ottaa huomioon vanhat käyttökokemukset. Näin saadaan kokonaisuudeltaan sekä parempi, että edullisempi vaihtoehto kuin täysin uuden laitteen hankinta.

2.1 Yleiskuvaus alkutilanteesta

Materiaalilaboratorion käytössä oleva vetokone on koululle yli kymmenen vuotta sitten hankittu reletekniikalla toteutettu materiaalien venymätestilaitte. Laite kytketty PC:hen erillisen ohjauskortin kautta, jolla materiaalin venymätiedot saatiin näkyviin ja jolla annettiin vetokoneelle testikomento. Itse testimateriaalin kiinnitys kouriin ja kourien asemointi suoritettiin laitteen kyljessä olevilla asemointiohjaimilla, sekä kourissa olevilla manuaalivivulla, jotka näkyvät kuvissa 1 ja 3. Näiden lisäksi laitteessa oli sen normaalitoimintojen lisäksi mahdollisuus käyttää erilaisia lisälaitteita, kuten hienovenymäanturia jolle oli liitännä laitteen kyljessä.



Kuva 1. Lopputyön materiaalivetokone.

2.2 Alkuperäinen sähkökaapin sisältö

Kuvassa 2 näkyy sähkökaapin lähtötilanne, jossa olevista osista suurin osa poistettiin tai korvattiin uusilla projektin aikana. Kuvan oikeassa laidassa sijaitsee vanha servomoottori sekä sen ohjain. Servo-ohjaimen vasemmalla puolella on laitteen sisäinen 24V 5A dc virtalähde, joka jouduttiin vaihtamaan uuteen 10A virtalähteeseen uuden servomoottorin vaatimusten takia. Virtalähteen vasemmalta puolelta löytyvät sulakkeet, joiden alapuolella, ja vasemmalla puolella on erilaisia releitä ja kontaktoreja, joiden tehtävät siirrettiin projektissa sulautetulle PC:lle ja sen lisämoduuleille. Tämän lisäksi kuvan 2 ylä-, ja alaosissa näkyvät servon voimansiirto, sekä laitteessa käytetyt riviliittimet.



Kuva 2. Kuvassa on alkuperäinen materiaalivetokoneen sähkökaapin sisältö.

2.3 Kuvaus vetokoneen alkuperäisestä ohjauksesta

Suurin osa vetokoneen tehtävistä suoritettiin automaattisesti releohjauksella, jolloin käyttäjälle jäi tehtäväksi kourien aseointi ja testimateriaalin kiinnitys. Tämä suoritettiin kuvassa 3 näkyvillä ohjaimilla. Kuvan vasemmassa reunassa ovat kourien aseointiohjaimet, joilla kuvan oikeassa reunassa näkyvät kiinnityskourat ajettiin haluttuun asentoon. Kourien ollessa halutussa kohdassa, kiinnitettiin testimateriaali niiden väliin käyttämällä kourissa olevia manuaalisia vipuja jotka näkyvät itse kourien ylä- ja alapuolella. Näiden tehtävien jälkeen PC:ltä annettiin ajokomento, jolloin vetokone suoritti venymämittauksen.



Kuva 3. Kuvassa näkyy vetokoneen ulkoiset ohjauspinnat.

3 Modernisoinnissa käytetyt osat

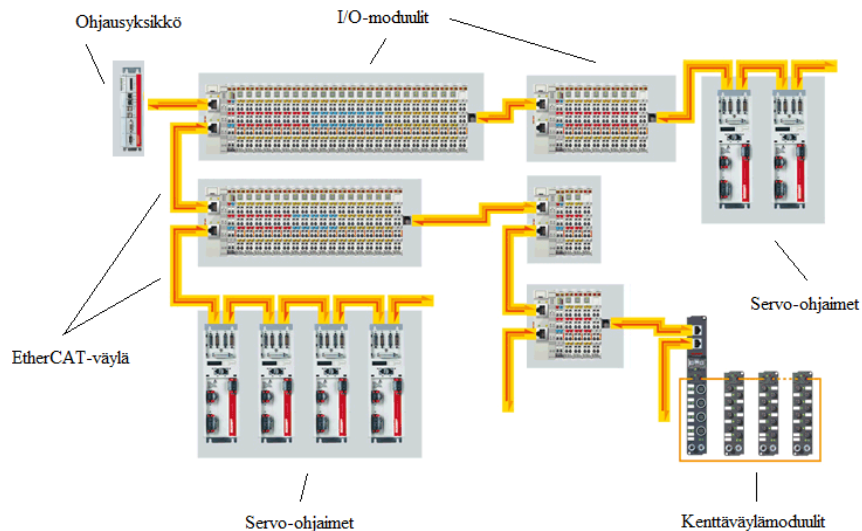
Kaikki modernisoinnissa käytetyt osat uutta virtalähdettä ja kierrätettyjä osia lukuun ottamatta tilattiin Beckhoffilta, nämä osat on listattu taulukkoon 1. Beckhoff soveltui hyvin osien toimittajaksi, koska yhtiö valmistaa kaikkia projektissa tarvittavia osia. Tämä salli kaikkien tarpeellisiksi määriteltyjen osien tilaamisen yhdellä kerralla. Projektin aikana tapahtui kuitenkin odottamattomia käänteitä, jotka pakottivat hankkimaan vetokoneelle uuden sisäisen virtalähteen ja sulautetun PC:n lisämoduuliksi virtalähde-terminaali. Sisäiseksi virtalähteeksi valittiin Weidmullerin Pro-M n1692 250W 24V 10A virtalähde ja sulautetun PC:n lisämoduuliksi Beckhoffin EL9505 24V virtalähde-terminaali.

Tuote	Tuotelinja	Kuvaus	Kpl
CX5020-1120	Embedded PC	Basic CPU module CX5020	1
XC1900-0027	Embedded PC	4GB Compact Flash card	1
TC1250-0040	TwinCAT 3	TC3 PLC/NC PTP 10 axes, Performance Class 40	1
AX5106-0000-0x00	Drive Technology	Digital Compact Servo Drive	1
AX5805-0000	Drive Technology	TwinSAFE drive option card	1
ZK4500-8024-0050	Drive Technology	Highly flexible, drag-chain suitable cable	1
AM8043-wEy1	Drive Technology	Servomotor	1
EL1008	EtherCAT Terminals	8-channel digital input terminal 24 V DC	2
EL1904	EtherCAT Terminals	4-channel digital input terminal, TwinSAFE, 24 V DC	1
EL2008	EtherCAT Terminals	8-channel digital output terminal 24 V DC, 0.5 A	1
EL2904	EtherCAT Terminals	4-channel digital output terminal, TwinSAFE, 24 V DC, 0.5 A	1
EL3356-0010	EtherCAT Terminals	1-channel input terminal, precise load cell analysis (resistor bridge), 24 bit	1
EL6900	EtherCAT Terminals	TwinSAFE PLC	1
EL9011	EtherCAT Terminals	Bus end cap	1
EL91860	EtherCAT Terminals	Potential distribution terminal, 8 x 24 V DC	1
EL9187	EtherCAT Terminals	Potential distribution terminal, 8 x 0 V	1

Taulukko 1. Lista Beckhoffilta alun perin tilatuista komponenteista.

3.1 Beckhoffin logiikkajärjestelmän perusrakenne

Beckhoffin logiikkajärjestelmissä lähtöpisteenä toimii systeemin ohjausyksikkö, joka on yleensä joko teollisuustietokone tai sulautettu tietokone. Ohjausyksiköstä eteenpäin rakenne voi jakautua lähes millä tavalla tahansa, sillä Beckhoffin käyttämä EtherCAT-kenttäväylä tukee lähes kaikenlaisia topologioita mukaan lukien yleisimmin käytettyjä linja, tähti- ja puu topologioita. Tätä Beckhoffin logiikkajärjestelmän perusrakennetta on kuvattu tarkemmin kuvassa 4. [1]



Kuva 4. Perusrakenne Beckhoffin logiikkajärjestelmissä [1]

3.2 Ohjausyksikkö

Vetokoneen ohjausyksiköksi olisi periaatteessa soveltunut mikä tahansa PC, mutta projektissa päädyttiin käyttämään sulautettua PC:tä jonka luotettavuus, koko ja hinta olivat muihin vaihtoehtoihin nähden hyvät. Sulautettu PC on pohjimmiltaan hyvin samanlainen tavalliseen PC:hen verrattuna, mutta se on suunniteltu soveltumaan paremmin tietynlaisiin käyttökohteisiin. Ne kestävät tavallista PC:tä vaativimpia olosuhteita ja mahtuvat kokonsa puolesta paremmin sähkökaapin kaltaisiin tiloihin. [1]

Vetokoneen ohjausyksiköksi valittiin Beckhoffin CX5000 sarjan sulautettu PC, joka on modulaarinen DIN-kiskoon koottava järjestelmä. Tämä modulaarisuus on suuri etu valittaessa muita projektissa tarvittavia osia, sillä se sallii juuri yksittäisten lisämoduulien valitsemisen omien tarpeiden mukaan ja jättää mahdollisuuden tulevaisuuden laajentamista varten. [1]

Valitun sulautetun PC:n tarkempi tyyppi on CX5020-1120, joka sisältää 128 mb flash-muistikortin jonka tilalle hankittiin suurempi XC1900-7 4GB flash-muisti. PC:n tarkempi tyyppi pitää sisällään valinnanvaraisen 1.6 GHz Intel® Atom™ Z530 prosessorin, K-bus liitännän Bus Terminaaleille, sekä Windows Embedded Standard 2009 käyttöjärjestelmän valinnanvaraisella TwinCAT 3:lla. Lisäksi PC:stä löytyy seuraavat liitännät: 2x RJ45, 10/100/1000 Mbit/s, DVI-D, ja 4x USB 2.0. [1]



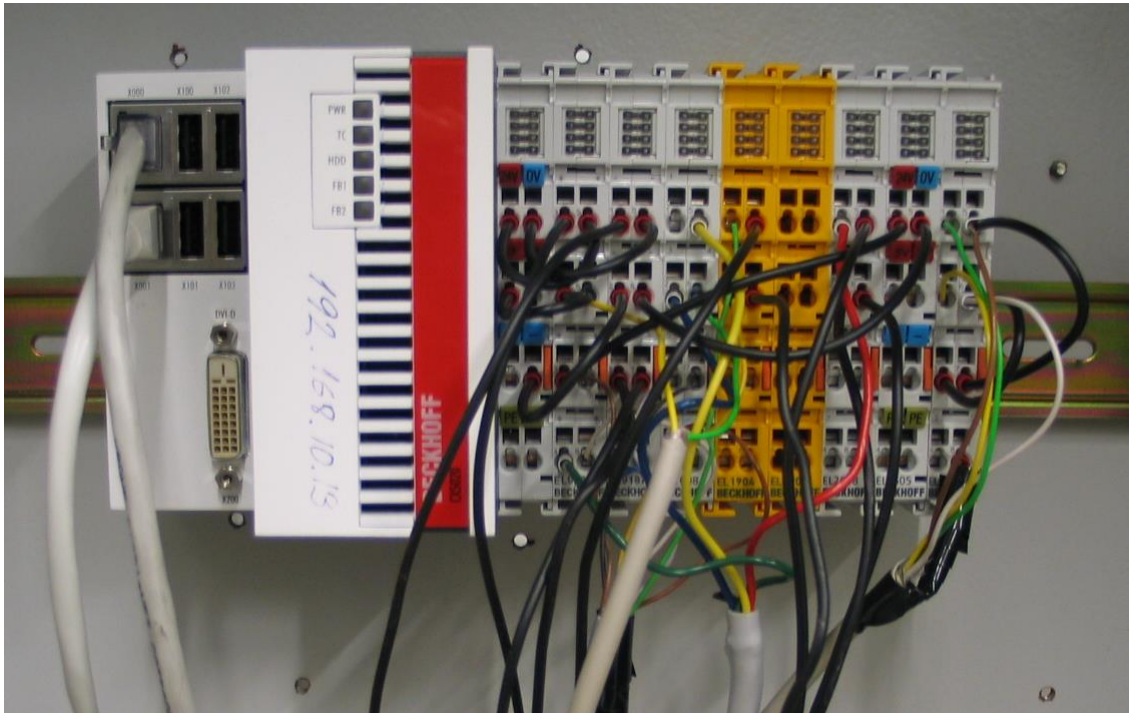
Kuva 5. Kuvassa on Beckhoffin sulautettu PC CX5020 [1]

3.3 Lisämoduulit

Sulautetun PC:n rinnalle asennettiin seuraavat järjestyksessä lisämoduulit:

- EL9186, Potentiaalin jakomoduuili, 8 x 24 V DC
- EL9187, potentiaalin jakomoduuili 8x 0 V
- EL1008, digitaalinen 8-kanavainen tulomoduuili
- EL1904, digitaalinen 4-kanavainen TwinSAFE tulomoduuili
- EL6900, TwinSAFE PLC-moduuili
- EL2008, digitaalinen 8-kanavainen lähtömoduuili
- EL9505, 24 V DC virtalähdemoduuli 5V DC lähdöllä
- EL3356-0010, analoginen 1-kanavainen tulomoduuili

Nämä lisämoduulit kytkeytyvät sulautetun PC:n rinnalle samaan DIN-kiskoon josta vedettiin tarvittavat johdotukset eripuolille vetokonetta. Alun perin valituista lisämoduuleista EL2904 osoittautui projektin edetessä turhaksi, sillä turvapiiri onnistuttiin toteuttamaan ilman suunniteltuja turvamoduulin lähtöjä. Vastapainoksi jouduttiin kuitenkin hankkimaan EL9505 lisämoduuli potentiaalimoduulien riittämättömyyden vuoksi.



Kuva 6. Kuvassa näkyy sulautettu PC ja käytetyt lisämoduulit testauksen aikana.

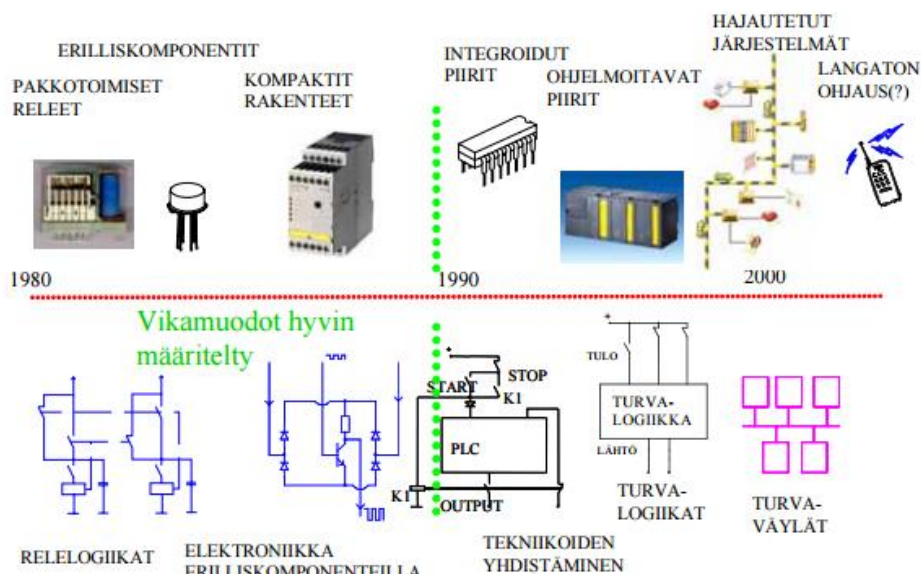
3.3.1 Turvalogiikka laajemmin

Vetokoneen kaltaisessa servomootoria ja kolmivaihevirtaa käyttävässä testilaitteessa on tärkeää ottaa huomioon laitteen käyttöturvallisuus. Tämä mielessä pitäen modernisoidussa vetokoneessa on kaksi turvalogiikkaa käyttävää toimintoa, hätä-seis-painike ja suojaoven asentoa seuraava anturi. Tällaisilla toiminnoilla on oma turvapiirinsä, jota suunnitellessa on tärkeää muistaa piirin kahdennus, ettei yksittäinen vikatilanne aiheuta vaaratilannetta. Vetokoneen vanhassa toteutuksessa laitteen turvallisuudesta vastasi pakkotoimisilla releillä toteutettu turvapiiri, mutta niistä siirryttäessä sulautettuun PC:hen täytyi turvapiirin rakennetta muuttaa. Tätä varten projektiin hankittiin kolme TwinSAFE moduulia, EL6900 TwinSAFE PLC-moduuli, EL1904 TwinSAFE digitaalinen input-moduuli ja EL2904 digitaalinen output-moduuli.

Koneautomaation ensimmäisten turvapiirien turvalogiikat tuotiin markkinoille vasta 1990-lukun puolivälissä, jota ennen turvallisten piirirakenteiden peruskomponentteina toimivat pakkotoimiset releet. Pakkotoimisilla releillä oli mahdollista suunnitella ja toteuttaa kytkentöjä, jotka olivat periaatteessa pettämättömiä. Tällaisissa elektroniikkapiireissä turvasuunnittelun taustalla oli pulssitettu tiedonsiirto joka sai releiden tilat vaihtumaan jokaisen tietopulssin aikana mikä oli edellytys vikojen paljastumiselle, sekä piirien kahdennus joka esti yksittäisen vian pysäyttämästä turvatoimintoja. Teollisuudessa oli myös harvinaisempia toteutuksia joissa yksittäisen releen tila saattoi pysyä samana pitkiäkin aikoja, jolloin vika saattoi jäädä huomaamatta koska releen tila ei vaihtunut. [2]

1990-luvun puolivälissä ensimmäisten turvalogiikoiden tullessa markkinoille, alettiin näillä korvaamaan vanhoja relepohjaisia turvasovelluksia. Turvalogiikoissa sisäinen toiminta on varmistettu monilla eri keinoilla sekä tyypillisten sovellusohjelmien käskykanta on kavennettu, jonka seurauksena monimutkaisempien turvaohjelmien toteutukset pidentyvät. Turvalogiikan kaltaisilla ohjelmoitavilla laitteilla pystytään toteuttamaan monipuolisempaa valvontaa, mutta mahdollisena haittapuolena näissä on hajautettujen järjestelmien turvasignaalien lähettäminen, sillä käytössä saattaa olla vain yksi signaalitie joka teki niistä alttiita vioille. [2]

Turvaväylät tulivat markkinoille 2000-luvulla, jolloin nämä väylät mahdollistivat hajauteissa järjestelmissä yksinkertaisten vikojen kuten tiedonsiirron menettämisen tunnistamisen helposti. Hyötyjen mukana tuli myös uusia haittoja ja vaikka tiedonsiirron menettäminen oli helposti havaittavissa, saattoi lähetettävä tieto tai lähetysosoite olla vääristynyt. [2]



Kuva 7. Turvapiireissä käytettyjen tekniikoiden kehittyminen [2].

Vetokoneen turvalogiikaksi valittu TwinSAFE PLC-moduuli on erillisten TwinSAFE input- ja output-moduulien välimuoto, jonka avulla turvapiirin kaapelointi voidaan siirtää kokonaan fieldbus-kaapelin sisäiseksi. Tämä tekee suunnittelusta helpompaa ja säästää materiaaleja. Moduulin toimintoihin sisältyy myös molemmat vetokoneessa käytetyt turva-toiminnot, eli hätä-seis ja turvaoven tilan seuraaminen mikä teki kyseisestä moduulista loogisen valinnan toimintojensa puolesta. [1] PLC-moduulin jatkoksi hankittiin myös kaksi erillistä digitaalista TwinSAFE input- ja output-moduulia varmistamaan turvatulojen ja lähtöjen riittävyys.

3.3.2 Tulo- ja lähtömoduulit

Tulojen ja lähtöjen sijaan käytetään yleensä lyhennettä I/O, joka tulee sanojen tulo ja lähtö englanninkielisistä versioista input ja output. Käytännössä I/O:lla tarkoitetaan tietoa ja komentoja jotka liikkuvat antureiden ja toimilaitteiden välillä. Nämä tulo- ja lähtömoduulit voidaan jakaa kahteen eri ryhmään, analogisiin ja digitaalisiin. [3, 4]

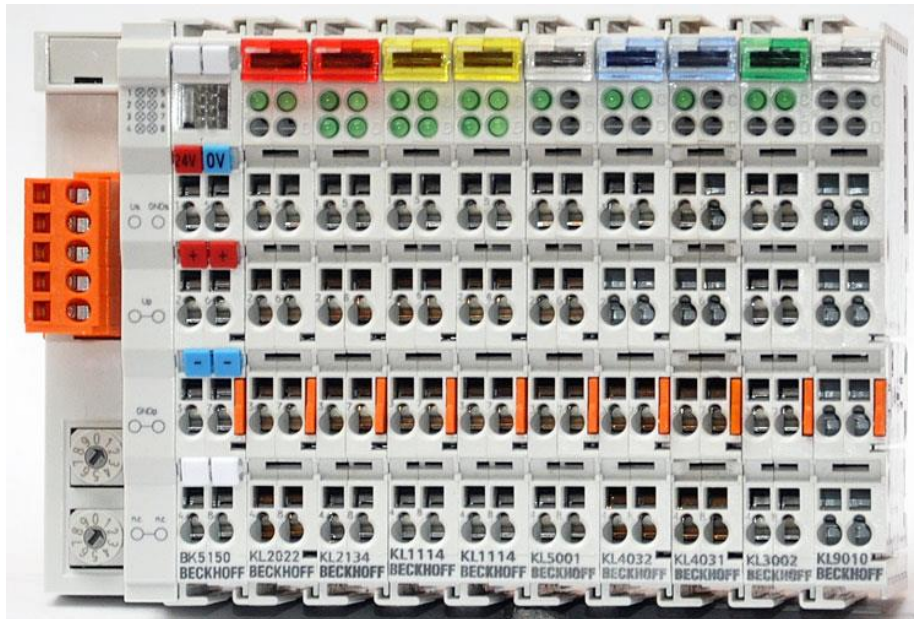
Analoginen tulo lukee siihen kiinnitetyltä laitteelta tulevaa, yleensä 4-20 mA:n alueelle rajattua vaihtelevaa arvoa. Tämän takia analogisiin tuloihin sopivat hyvin erilaisia suureita kuten painetta ja lämpötilaa mittaavat anturit, joiden antamat arvot vaihtelevat.

Sama periaate pätee myös analogisissa lähdöissä, jossa vaihteleva lähtöarvo soveltuu hyvin esimerkiksi moottorien nopeuden säätöön. [3, 4]

Digitaalinen tulo on analogiseen nähden rajoitetumpi, sillä se pystyy lukemaan vain päällä tai pois päältä tiloja siihen kiinnitetyltä laitteelta. Tämän takia digitaaliset tulot soveltuvat hyvin erilaisten nappien ja kytkinten tilojen seuraamiseen, mutta voivat aiheuttaa ongelmia mahdollisissa vikatilanteissa, sillä digitaalinen tulo ei osaa kertoa eroa rikkiäisen ja ei aktiivisen tilan välillä. Vastaavasti digitaaliset lähdöt ovat päällä tai pois päältä ohjauksia, jotka soveltuvat esimerkiksi valojen ja venttiilien ohjaukseen. [3, 4]

Itse I/O-moduulit ovat laitteita jotka toimivat siltana kenttälaitteiden ja logiikkaohjaimen välillä, muuttaen kenttälaitteilta tulevat sähköiset signaalit logiikkaohjaimen ymmärtämään muotoon. [3, 4]

Lopputyössä käytettiin ensisijaisesti digitaalisia tulo- ja lähtömoduuleja, mutta vetokoneessa käytetyn alkuperäinen voima-anturin lukemiseen tarvittiin oma analoginen tulo-moduuli. Kaikki edellä mainitut moduulit on listattu taulukkoon 1. Vetokoneen relejärjestelmän korvaamiseen tarvittiin alkuperäisten laskelmien mukaan 9 digitaalista tuloa, 5 digitaalista lähtöä sekä yksi analoginen tulo. I/O-moduuleita hankittaessa pidettiin mielessä laajentamisen mahdollisuus tulevaisuudessa ja moduuleita hankittiin kaikkiaan 20 digitaaliselle tulolle, 12 digitaaliselle lähdölle sekä yhdelle analogiselle tulolle.



Kuva 8. Erilaisia Beckhoffin I/O-moduuleita. [5]

3.4 TwinCAT ja Forceproof

Modernisoinnin logiikkaohjelmalla käytettiin Beckhoffin omaa TwinCAT3-ohjelmaa ja sen TC1250-0040 laajennusta. TwinCAT3 on Windows-pohjainen ohjausjärjestelmä jolla PC:stä voidaan tehdä useamman PLC:n reaaliaikainen ohjausjärjestelmä. Ohjelma sallii kaikkien Windows-ohjelmien (esim. Office- ja Visual Studio-ohjelmistojen) suorittaa komentoja, tai hakea tietoja Microsoftin standardi-liityntärajapintojen kautta. [9]

TwinCAT 3:n rinnalla käytettiin Fluxitekin kehittämää materiaalinestaukseen tarkoitettua ForceProof-ohjelmistoa, jolla vetokoneesta saatu numeraalinen tieto muutettiin helpommin käsiteltävään muotoon. Saaduista tiedoista laskettiin materiaalille ominaistietoja kuten murtoraja ja maksimijännitys, jotka esitettiin numeraalisen formaatin rinnalla myös graafisessa muodossa. Näistä materiaalitestin tuloksista on esimerkki liitteessä 1.

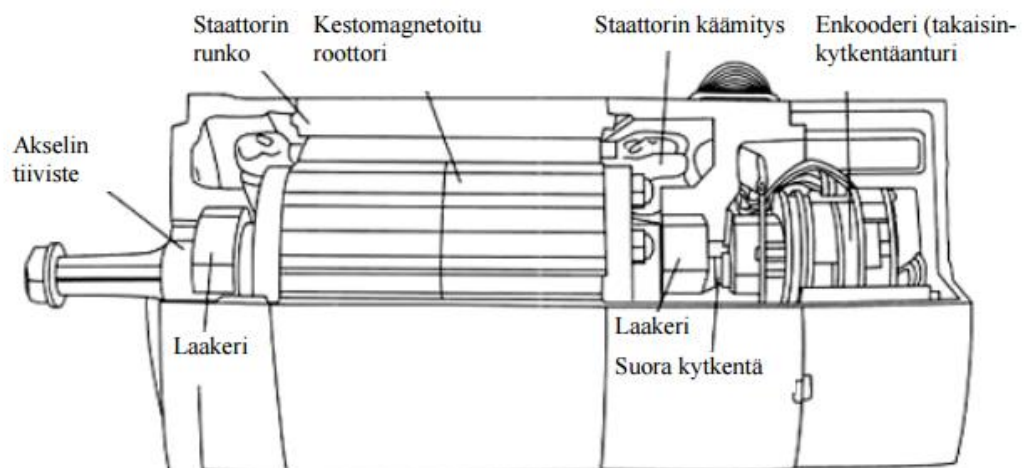
3.5 Servomoottorit ja niiden ohjaus

Servomoottorit ovat sähkömootteihin verrattuna paljon nopeammin toimivia moottoreita. Nopeuden taustalla on pieni hitausmomentti, joka sallii nopeat muutokset servomoottorin kiihtyvyydessä. Servomoottoreista voidaan tehdä joko AC-tai DC-koneita ja

vaikka ennen käytettiin lähinnä DC-servomootoreita, ovat ne syrjäytyneet nykyisten AC-servomoottorien kehittyessä. Näiden AC-servomoottorien toiminta perustuu pyörivään magneettikenttään, jonka pyörimisnopeus verrattuna koneen roottorin pyörimisnopeuteen määrittelee koneen tyypin. Samanaikaisesti magneettikentän kanssa pyörivän roottorin omaava konetta kutsutaan tahtikoneeksi, kun taas epätahtiin pyörivän roottorin omaavaa konetta kutsutaan epätahtikoneeksi. [6, 7]

Tahtimootoreita käytetään yleensä niiden paremman säädettävyyden ja hyötysuhteensa vuoksi. Näille tahtikoneille syötetään sinimuotoista kolmivaihejännitettä ja niiden nopeutta säädetään syöttöjännitteen taajuutta muuttamalla. [6, 7]

Projektissa uusittiin vanha servomoottori ja sen ohjain, joiden korvaajien mitoitus suoritettiin toisessa insinööritoimistossa. Korvaajiksi valittiin Beckhoffin AM8043-sarjan kolmivaiheinen kestmagneettitahtimoottori ja sen ohjaajaksi AX5106 sarjan yksikanavainen servo-ohjain.



Kuva 9. Tyypillinen kestmagneetoitu servomoottori [8]

4 Lopputyön toteutus

4.1 Alkutarkastelu

Projektin ensimmäinen työvaihe oli vetokoneeseen ja sen dokumentteihin tutustuminen. Vetokone oli pintapuolisesti hyvässä kunnossa, sähkökaapin sisältö oli siisti, johdotukset oli numeroitu ja laite vaikutti olevan toimintakunnossa. Tutustumisen edetessä alkoi laitteesta kuitenkin löytyä puutteita ja vikoja. Laitteen käyttöohjeet olivat vielä tallessa, mutta minkäänlaisia sähkökuvia niistä ei löytynyt. Laitteeseen oli alkujaan kuulunut liitettäviä lisäantureita joiden liitäntä näkyy kuvassa 10, mutta anturit olivat kadonneet vuosien saatossa. Lisäksi laite oli ajettu raja-antureiden maksimiarvojen ulkopuolelle, jonka seurauksena vaikutti siltä että kyseinen raja-anturi oli vahingoittunut.



Kuva 10. Lisäanturien liitäntä vetokoneen kyljessä

4.2 Suunnittelu ja kartoitus

Koska laitteen dokumentointi oli puutteellinen, oli seuraava työvaihe laitteen tarkempi kartoitus. Tässä vaiheessa käytiin läpi vetokoneen johdotus ja piirrettiin pääpiirikaavio helpottamaan modernisoinnin suunnittelua sekä antamaan hyvä yleiskuva laitteen alkutilanteesta. Johtojen numerointi helpotti tätä työvaihetta huomattavasti, mutta raja-antureiden kartoituksen osalta osa vetokoneen rakenteista jouduttiin purkamaan, jotta laitteen uumenissa olevien raja-antureiden johdotuksia päästiin tarkastelemaan. Kun vetokoneen kartoitus oli valmis ja tiedettiin käytössä olevien tulojen ja lähtöjen määrä, pystyttiin Beckhoff:lta tilaamaan modernisoinnissa tarvittavat osat.

4.3 Purkaminen

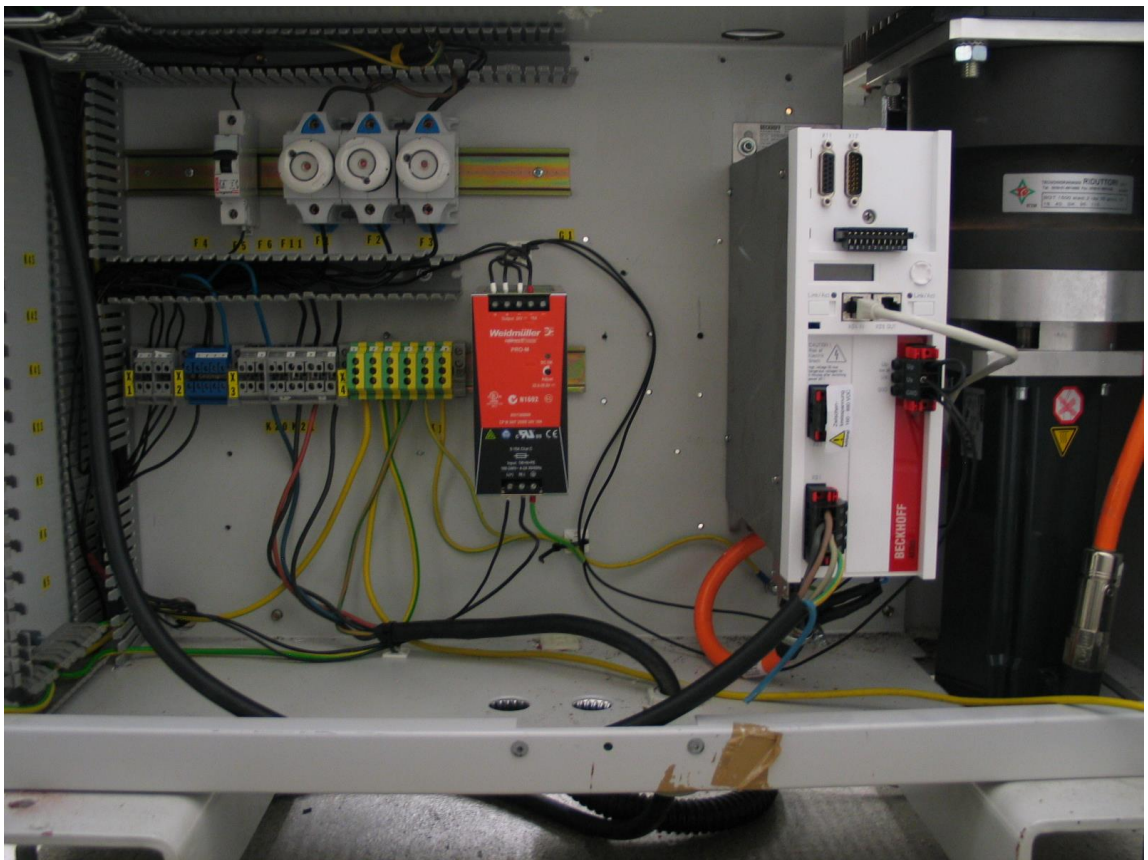
Tämän työvaiheen alussa vetokoneesta poistettiin vanha servomoottori ja sen ohjain. Kun servomoottori ja sen ohjain oli vaihdettu uusiin, siirrettiin vetokone fyysisesti alkusijainnistaan uuteen laboratorihuoneeseen, jossa laite pultattiin kiinni lattiaan mahdollisen kaatumisriskin poistamiseksi. Siirron jälkeen alkoi sähkökaapin sisällön purkaminen. Tässä vaiheessa sähkökaapista poistettiin kaikki releet ja kontaktorit sekä karsittiin riviliittimien, sulakkeiden ja kaapelikourujen määrää.

4.4 Uusien osien asennus

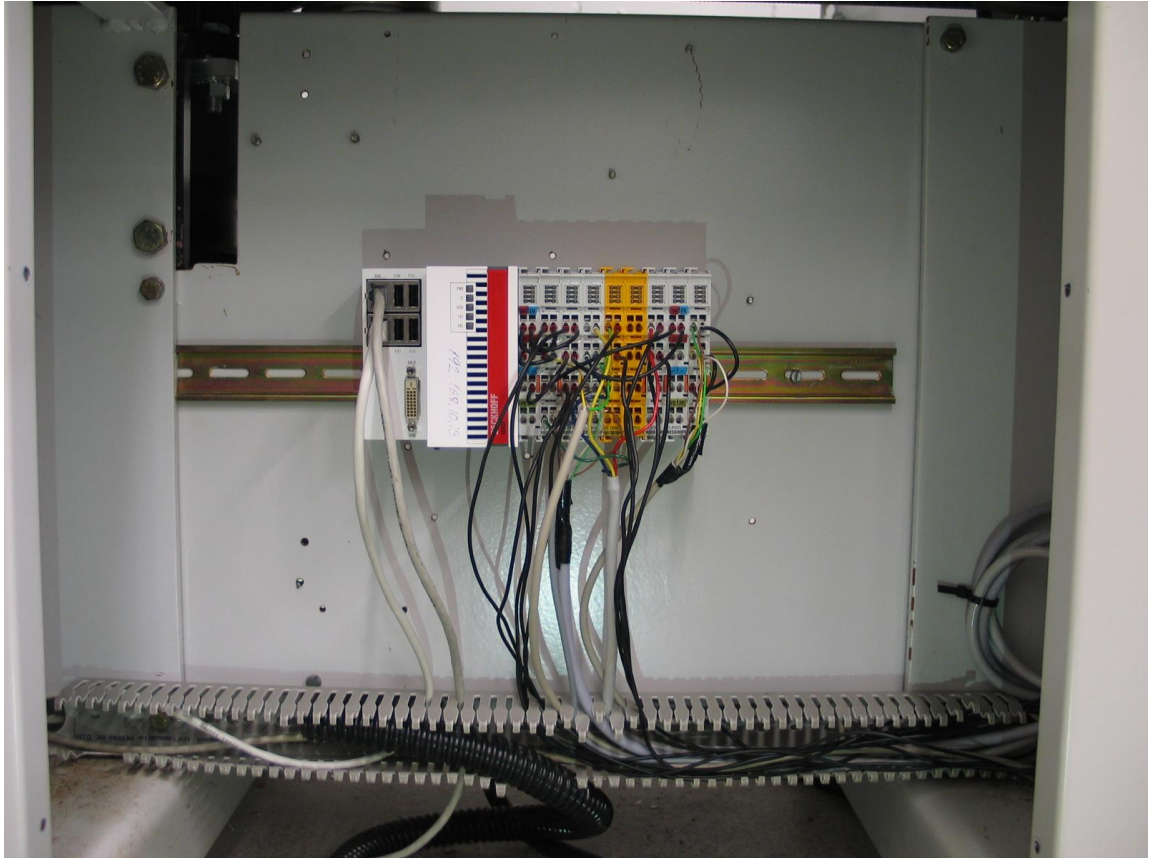
Sähkökaapin sisälle jätettiin vanha virtalähde, jonka lisäksi uudelleen käyttöön kierrätetyt sulakkeet ja riviliittimet järjestettiin uudelleen. Tämän jälkeen releiden ja kontaktorien korvaajaksi valitulle PC:lle ja sen lisämoduuleille asennettiin uusi kiinnityskisko ja kaapelikouru sähkökaapin toiselle puolelle, jonka suojaksi asennettiin ruuveilla kiinnitettävä suojamuovi. Seuraavaksi vetokoneen tulot, lähdöt ja muut johdotukset vedettiin uusille paikoilleen käyttäen ensisijaisesti alkuperäisiä johtoja.

4.5 Testaus ja siistiminen

Lopuksi vetokone yhdistettiin lähiverkon kautta pöytätietokoneeseen, jolla testattiin valmiiksi tehtyä ohjelmistoa sekä vetokoneen ja tietokoneen välisen yhteyden toimivuutta. Ohjelmisto ja yhteys saatiin toimimaan, mutta käytössä ollut vanha virtalähde osoittautui liian heikoksi uuden servomoottorin käyttöön ja jouduttiin vaihtamaan uuteen. Testauksen jälkeen oli vuorossa johdotusten reititys ja sähkökaapin yleinen siistiminen. Sähkökaapin loppuliset johtoreitit näkyvät kuvissa 11 ja 12.



Kuva 11. Modernisoinnin jälkeiset johtojen reititykset.



Kuva 12. Sulautetun PC:n ja lisämoduulien asennustila.

5 Projektin aikana ilmenneet ongelmat ja niiden ratkaisut

Vetokoneessa oli raja-anturin virheilmoitus päällä projektin alusta alkaen, jonka aiheuttajaksi epäiltiin käytössä rikkoutunutta raja-anturia. Itse raja-anturi oli syvällä vetokoneen uumenissa johon pääsi käsiksi vain purkamalla osan vetokoneen rakenteista. Anturin tilaa tarkisteltaessa ilmeni kuitenkin sen olevan ehjä, ja lopulta vikailmoituksen aiheuttajaksi paljastui anturin löysä kiinnitys. Tämä oli todennäköisesti tapahtunut kun vetokoneetta oli käytetty sille tarkoitettujen raja-arvojen ulkopuolella. Vika korjaantui kun anturi tarkistettiin ja kiinnitettiin uudelleen.

Alkuperäisten sähkökuvien puuttuminen hidasti projektin etenemistä, koska koko laitteen johdotukset sekä lähdöt ja tulot jouduttiin kartoittamaan uudelleen.

Kaikki vetokoneessa alkujaan olleet ulkoiset lisälaitteet olivat kadonneet, joten niiden toiminnot karsittiin modernisoinnin yhteydessä. Modernisoidussa versiossa päädyttiin kuitenkin hankkimaan tarvittua enemmän I/O:ta, mahdollisten tulevaisuuden laajennuksien sallimiseksi jos karsittuja toimintoja haluttaisiin tuota takaisin.

Alkujaan lopputyön fyysinen osuus oli tarkoitus aloittaa mahdollisimman nopeasti, mutta modernisoinnissa tarvittavien uusien osien toimitusajat venyivät yli kuukauden pituisiksi, ja projektin eteneminen hidastui huomattavasti.

Uusien komponenttien sijoituspaikkoja suunniteltaessa ilmeni sulautetun PC:n vaativan enemmän tilaa kuin sähkökaapissa oli jäljellä. Ongelma ratkaistiin asentamalla kiinnityskisko, kaapelikouru ja suojamuovi sähkökaapin toiselle puolelle jossa oli riittävästi tilaa sulautetulle PC:lle ja sen lisämoduuleille.

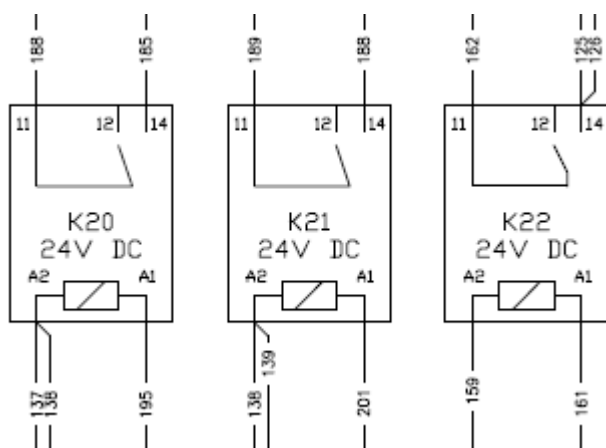
Vetokoneen modernisoinnin testausvaiheessa huomattiin, ettei vanhan virtalähteen teho riittänyt uuden servomoottorin jarruttamiseen, vaan sen tilalle jouduttiin tilaamaan uusi ja tehokkaampi virtalähde.

6 Sähkökuvien laatiminen

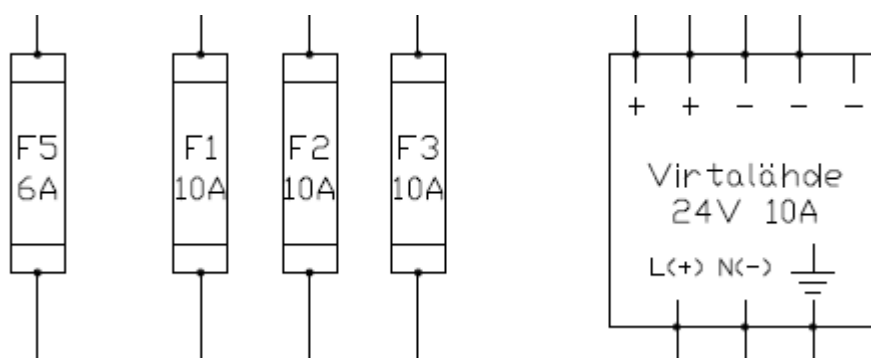
Projektissa laadittiin kaksi kappaletta piirikaavioita kuvaamaan vetokoneessa tehtyjä muutoksia ja auttamaan sen modernisoinnin suunnittelussa, koska alkuperäiset piirikaaviot olivat kadonneet. Ensimmäinen piirikaaviossa pitää sisällään vetokoneen lähtötilanteen ja antaa hyvän yleiskuvan vetokoneen rakenteesta, siinä käytetyistä osista ja vetokoneen toimintatavasta. Toisessa piirikaaviossa käydään läpi modernisoinnin jälkeistä tilannetta ja esitellään miten vanhat toteutukset on korvattu uudella tekniikalla. Näitä piirikaavioita vertaamalla saa hyvän yleiskuvan siitä mitä vetokoneessa on muuttunut modernisoinnin yhteydessä ja mitkä osuudet ovat pysyneet samanlaisina. Ensimmäinen ja toinen piirikaaviot löytyvät liitteistä 2 ja 3.

Lähtötavoitteena piirikaavioille oli yksinkertaisuus jolloin yhdestä kuvasta saisi hyvän käsityksen vetokoneen kokonaisrakenteesta. Piirikaavioita piirrettäessä ilmeni kuitenkin

mahdollisuus laajentaa lopputulosta siinä määrin, että kuvasta ilmenisi myös melko paljon käytettyjen komponenttien sisältöä. Tätä on esitelty kuvissa 13 ja 14.



Kuva 13. Kolme vetokoneesta poistettua relettä niiden piirrettyssä muodossa.



Kuva 14. Modernisoidussa vetokoneessa käytetyt sulakkeet ja virtalähde piirrettynä.

Sähkökuvien toteutus tehtiin opiskelijalisenssisellä AutoCAD Electrical ohjelmalla, joka vaikutti toimintojensa puolesta hyvin tehtävään soveltuvalta. Tämän lisäksi apuna käytettiin Aimo Pereen kirjaa sähköpiirustus [10], josta haettiin lisätietoa oikeista piirtomerkeistä, standardeista ja piirtotekniikoista.

AutoCAD Electrical on Autodeskin kehittämä ohjelma sähköisten ohjausjärjestelmien suunnitteluun joka sisältää samat työkalut kuin AutoCAD, ja on sen kanssa monelta osin yhteensopiva. AutoCAD Electrical on kuitenkin enemmän sähköpiirustusten luontiin

suunnattu ohjelma kuin perinteinen AutoCAD ja sisältää uusia työkaluja jotka helpottavat mm. sähköpiirien luontia ja johtojen numerointia. Näiden lisäksi ohjelmassa on valmiina erilaisia kirjastoja, joista löytyy monia valmiita ja muokattavia osia, sekä erilaisia piirrosmerkkejä.

7 Logiikkaohjelma

TwinCAT 3 ympäristössä on mahdollista suorittaa PLC-ohjelmointia C/C++ sekä muilla IEC-61131-3 standardin määrittämällä ohjelmointikielillä. Vetokoneessa käytettävän logiikkaohjelman on tuottanut ulkopuolinen taho C-kielillä ja tässä osuudessa esitellään kevyesti osaa sen pääohjelmasta.

Läpikäynti keskittyy vetokoneen voiman ja venymän mittaukseen pääohjelmassa. Mittaus toteutetaan käyttämällä ohjelman alussa määriteltäviä ja kuvassa 15 esitettyjä tilapäisiä voiman ja position minimi, sekä maksimiarvoja.

```
pääohjelma main
muuttujat
PROGRAM MAIN

VAR
    tmp1:LREAL;
    tmp2:LREAL;

    dynamicTestSavingCounter      :INT;
➡ forceMinTmp                    :ARRAY[0..2] OF LREAL;
➡ forceMaxTmp                    :ARRAY[0..2] OF LREAL;
➡ posMinTmp                      :ARRAY[0..2] OF LREAL;
➡ posMaxTmp                      :ARRAY[0..2] OF LREAL;
    taringUntaring_              :TaringUntaring;
    communication                 :CommunicationPcPlc;
    .
    .
    .
```

Kuva 15. Osa pääohjelman muuttujien määrittelyä.

Edellä mainitut arvot esiintyvät uudelleen myöhemmässä osassa koodia, joissa niihin luetaan vetokoneelta saadut arvot. Tämän toteutus nähdään kuvassa 16.

```

dynamicTestSavingCounter:=dynamicTestSavingCounter+1;

IF dynamicTestSavingCounter>400 THEN
    dynamicTestSavingCounter:=0;
    forceMinTmp[0]:=50.0;
    forceMaxTmp[0]:=-50.0;
    posMinTmp[0]:=1000.0;
    posMaxTmp[0]:=-1000.0;
END_IF

➡ IF forceMinTmp[0]>=forceValueD_[0] THEN
    forceMinTmp[0]:=forceValueD_[0];
END_IF
➡ IF forceMaxTmp[0]<=forceValueD_[0] THEN
    forceMaxTmp[0]:=forceValueD_[0];
END_IF
➡ IF posMinTmp[0]>actualPosition[0] THEN
    posMinTmp[0]:=actualPosition[0];
END_IF
➡ IF posMaxTmp[0]<actualPosition[0] THEN
    posMaxTmp[0]:=actualPosition[0];
END_IF

IF dynamicTestSavingCounter>100 THEN
    forceMin[0]:=forceMinTmp[0];
    forceMax[0]:=forceMaxTmp[0];
    posMin[0]:=posMinTmp[0];
    posMax[0]:=posMaxTmp[0];
END_IF

```

Kuva 16. Kuvassa 15 luotujen muuttujien käyttöä ohjelmassa.

8 Yhteenveto

Lopputyön tavoitteina olivat opetuskäyttöön soveltuva modernisoitu vetokone ja sille laaditut uudet sähkökuvat. Vaikka projektin matkalla oli monenlaisia vaikeuksia, niin toimitusaikojen kun tiedonkulun kanssa, saavutettiin projektille asetetut tavoitteet ja laite on jo osoittautunut toimivaksi kokonaisuudeksi opetuskäytössä.

Vetokoneessa alun perin olleita lisälaitteita kuten hienovenymäänturia ei koskaan paikannettu ja nämä jouduttiin jättämään pois modernisoidusta versiosta, mikä oli harmillista. Tämä silmällä pitäen vetokoneen modernisoinnissa jätettiin sopivasti laajentamisvaraa siltä varalta, että kyseiset osat löydettäisiin tulevaisuudessa tai ne haluttaisiin toteuttaa uudelleen.

Projekti oli monipuolinen ja paransi osaamistani monella eri osa-alueella. Eniten kehittyneitä alueita olivat sähkökuvien laatiminen, yleisen ajankäytön suunnittelu ja käytännön asennustyö. Lisäksi Beckhoffin tuotteisiin ja niiden erilaisiin sovellustarkoituksiin tuli syvennyttyä.

Alueita, joihin olisi ollut mielenkiintoa ja hyötyä osallistua enemmän, oli projektissa laadittu ohjelmisto ja yleinen logiikkajärjestelmän suunnittelu sekä testaaminen.

Lähteet

- 1 Beckhoffin www-sivut.
<http://www.beckhoff.fi/fi/beckhoff/default.htm> Luettu 7.4.2015
- 2 Yleistä tietoa turvalogiikoista sisältävä www-dokumentti.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2264.pdf> Luettu 15.4.2015
- 3 Yleistietoa PLC:stä ja I/O:sta sisältä www-sivu.
<http://www.plctutor.com/> Luettu 16.4.2015
- 4 Yleistietoa I/O:sta sisältävä www-sivu.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Input/output> Luettu 16.4.2015
- 5 Kuva useammasta Beckhoffin I/O-moduulista.
<http://www.mplelectronic.com/en/prod-ric-soit.html> Luettu 17.4.2015
- 6 Manuaalisorvin modernisointi Fanuc 0i-ohjauksella. Verkkodokumentti 2014.
Jukka Teittinen, Metropolian Ammattikorkeakoulu.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73803/Manuaali.pdf?sequence=1>
Luettu 17.4.2015
- 7 Yleistietoa servomoottoreista sisältävä www-sivu.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Servomotor> Luettu 17.4.2015
- 8 VTT:n tutkimusraportti servomoottorien vikautumisesta.
http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori_rakenne_vikaantuminen&havainnointi.pdf Luettu 18.4.2015
- 9 Verkkodokumentti Beckhoff TwinCAT 3.
<http://autsys.aalto.fi/intranet/as-0.3200/attach/A12-08/Loppudokumentaatio.pdf>
Luettu 19.4.2015
- 10 Aimo, Pere 1998. Sähköpiirustus. Kirpe OY
- 11 Verkkokirja AutoCAD Electricalista ja sen käytöstä.
<https://books.google.fi/books?id=uDILuAg6GjIC&printsec=frontcover&hl=fi> Luettu 20.4.2015

Materiaalitestin tuloskaavio

Esimerkki opiskelijan muoville ajamasta materiaalitestistä.

plastic test

Koestaja

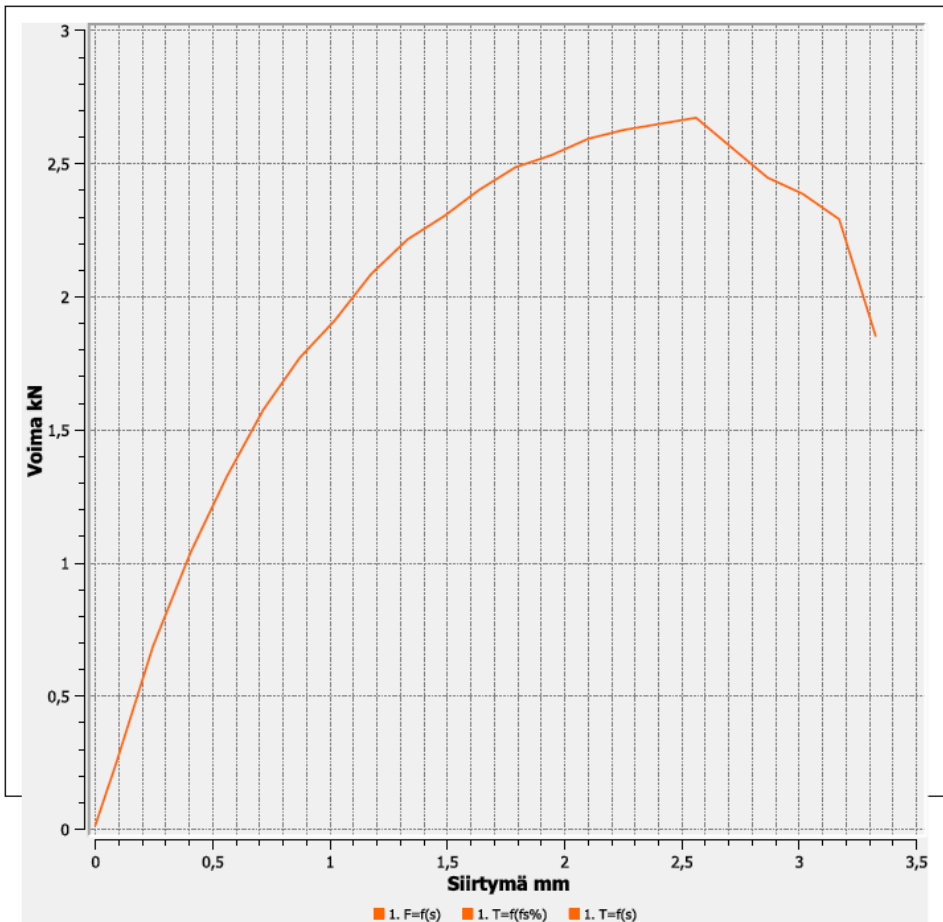
Testi 1
Alkoi: 2014-12-04 15:42:24 Kesto: 00:00:09

Testitulokset

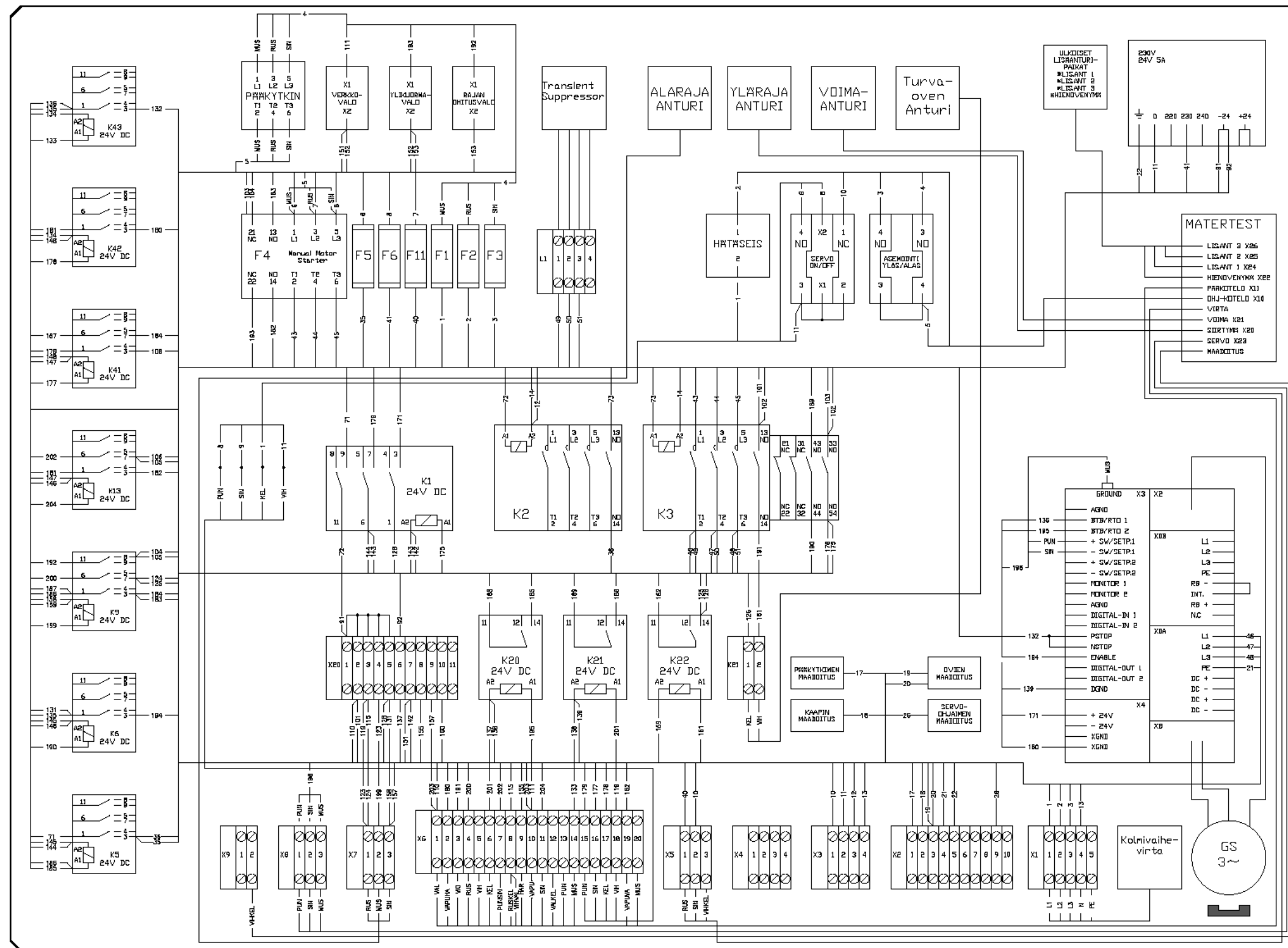
Kimmokerroin (E1)	kN/mm ²	Jousivakio (hienov.ant)	kN/mm
Alempi myötöraja (ReL)	N/mm ²	Murtoraja	1.595 kN/mm ²
Ylempi myötöraja (ReH)	151.017 N/mm ²	Maksimijännitys	151.017 N/mm ²

Syöttötiedot

Lo	0	mm	Sisähalkaisija	mm
Le	0	mm	Putkisegm. leveys	mm
Lc	45	mm	Suorakulmion sivu a	0.3 mm
Halkaisija		mm	Suorakulmion sivu b	59 mm
			Pinta-ala S0	17.700 mm ²



Piirikaavio lähtötilanteesta



Piirikaavio modernisoinnin jälkeen

